

**Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus mossae* terhadap
Perkecambahan Biji Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)
Kultivar UPCA pada Kondisi Cekaman Krom Heksavalen
(Effect of *Glomus mossae* Mycorrhizae against Sorghum Seed
Germination (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) UPCA Cultivars
on Hexvalent Chromium Stress Conditions)**

Oleh :

**Fiktor Dawile
NIM: 412013702**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian dari persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Sains (Biologi) dari Program Studi
Biologi, Fakultas Biologi**

Program Studi Biologi



**Program Studi Biologi
Fakultas Biologi
Universitas Kristen Satya Wacana
Salatiga
2016**



PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fiktor Dawile
NIM : 412013702 Email : Viktordawile@yahoo.com
Fakultas : Biologi Program Studi : Biologi
Judul tugas akhir : Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus mossae* Terhadap Perkecambahan Biji Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Kultivar UPCA pada Kondisi Cekaman Krom Heksavalen
Pembimbing : 1. Dr. Sri Kasmiyati, S.Si., M.Si
2.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan baik di Universitas Kristen Satya Wacana maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini bukan saduran/terjemahan melainkan merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian/implementasi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing akademik dan narasumber penelitian.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya saya ini, serta sanksi lain yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Kristen Satya Wacana.

Salatiga, 19 September 2016



Fiktor Dawile



PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS
UNIVERSITAS KRISTEN SATYA WACANA
Jl. Diponegoro 52 – 60 Salatiga 50711
Jawa Tengah, Indonesia
Telp. 0298 – 321212, Fax. 0298 321433
Email: library@adm.uksw.edu ; http://library.uksw.edu

PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fiktor Dawile
NIM : 412013702 Email : Viktordawile@yahoo.com
Fakultas : Biologi Program Studi : Biologi
Judul tugas akhir : Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus mossae* Terhadap Perkecambahan Biji Sorgum
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Kultivar UPCA pada Kondisi Cekaman Krom
heksavalen

Dengan ini saya menyerahkan hak *non-eksklusif** kepada Perpustakaan Universitas – Universitas Kristen Satya Wacana untuk menyimpan, mengatur akses serta melakukan pengelolaan terhadap karya saya ini dengan mengacu pada ketentuan akses tugas akhir elektronik sebagai berikut (beri tanda pada kotak yang sesuai):

- ☒ a. Saya mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA
- ☐ b. Saya tidak mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA**

* Hak yang tidak terbatas hanya bagi satu pihak saja. Pengajar, peneliti, dan mahasiswa yang menyerahkan hak non-eksklusif kepada Repositori Perpustakaan Universitas saat mengumpulkan hasil karya mereka masih memiliki hak copyright atas karya tersebut.

** Hanya akan menampilkan halaman judul dan abstrak. Pilihan ini harus dilampiri dengan penjelasan/ alasan tertulis dari pembimbing TA dan diketahui oleh pimpinan fakultas (dekan/kaprodi).

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Salatiga, 19 September 2016

Fiktor Dawile

Mengetahui,

Dr. Sri Kasmiyati, S.Si., M.Si

**Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus mossae* terhadap
Perkecambahan Biji Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)
Kultivar UPCA pada Kondisi Cekaman Krom Heksavalen
(Effect of *Glomus mossae* Mycorrhizae against Sorghum Seed
Germination (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) UPCA Cultivars
on Hexvalent Chromium Stress Conditions)**

Oleh,

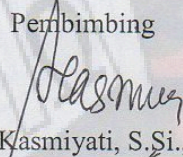
Fiktor Dawile
NIM: 412013702

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian dari persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Sains (Biologi) dari Program Studi
Biologi, Fakultas Biologi**

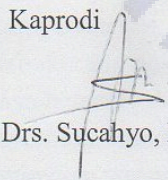
Disetujui oleh,

Pembimbing



Dr. Sri Kasmiyati, S.Si., M.Si

Mengesahkan

Kaprodi


Drs. Sucahyo, M.Sc.

PLT. Dekan


Prof. Dr. Ferdy S. Rondonuwu, M.Sc.

Fakultas Biologi
Universitas Kristen Satya Wacana
Salatiga
2016

ABSTRAK

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a cereal crop that has great potential to be developed in Indonesia. Besides having the tolerance to various types of environmental stress, sorghum also has a variety of uses such as food material, feed and industrial materials. One stress conditions faced by the sorghum is a heavy metal pollutants, including chromium (Cr). Mycorrhizal symbiosis with the roots can improve plant resistance to heavy metal stress. The purpose of the research is to determine the treatment effect of *Glomus mossae* mycorrhiza on seed germination and the growth of UPCA sorghum cultivars sprouts on hexavalent Cr^{6+} stress condition. This research using completely randomized design method, with 2 treatments that is mycorrhizal treatment as many as 5 g/100 g planting media and without granting mycorrhiza (control), with each treatment as many as 50 repeats. Cr^{6+} stress is given in the form of dichromate compounds ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) in the amount of 5 mg Cr^{6+} /L. Germination was performed using sterile sand medium and watered with Hoagland nutrient solution. Seed germination is carried out for 7 days. The observed parameters include number of seeds that germinated, the length of the roots and shoots, and the seedling dry weight. The results showed a significant effect of given mycorrhizal on seed germination and the growth of UPCA sorghum cultivars sprouts on Cr stress condition. On Cr^{6+} stress condition, the length of the roots and shoots, and sorghum seedling dry weight that was given *G. mossae* showed higher results than without *G. mossae*. Otherwise, the percentage of sorghum seed germination inoculated with *G. mossae* show lower results compared with sorghum without *G. mossae* inoculation, on Cr^{6+} stress condition.

Key words: Hexavalent Chromium, VAM, *Glomus mossae*, *Sorghum bicolor*, Germination

PENDAHULUAN

Sorgum (*Sorghum bicolor*) merupakan tanaman anggota serealia yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia. Selain memiliki toleransi terhadap berbagai jenis cekaman lingkungan, tanaman sorgum juga memiliki berbagai kegunaan diantaranya sebagai bahan pangan, pakan dan industri (Sirappa, 2003). Menurut Reddy dan Dar (2007), biji sorgum dapat dijadikan sebagai bahan pangan utama sumber karbohidrat, sedangkan batang dan bijinya dapat dikonversi menjadi bioetanol. Tanaman ini telah lama dibudidayakan namun masih dalam areal yang terbatas. Di Indonesia sorgum dikenal sebagai palawija dengan sebutan cantel, jagung cantel, dan gandrung. Selain sebagai sumber karbohidrat, sorgum memiliki kandungan protein, kalsium dan vitamin B1 lebih tinggi dibanding beras dan jagung sehingga tanaman sorgum sangat potensial sebagai bahan pangan utama (Dicko *et al.* 2006).

Logam berat yang dilepaskan ke lingkungan dapat bersumber dari alam maupun akibat aktivitas antropogenik. Pada konsentrasi rendahpun logam berat dapat sangat reaktif dan beracun, mencemari tanah dan air, serta menyebabkan terjadinya bioakumulasi pada jejaring makanan yang akan mempengaruhi kehidupan biota (Gall *et al.* 2015). Krom merupakan salah satu logam berat yang memiliki banyak kegunaan dalam bidang industri. Cr digunakan dalam penyamakan kulit, penyepuh logam, produksi baja, asam kromik dan bahan kimia khusus lainnya (Nriagu, 1988). Toksisitas Cr pada tanaman tergantung pada tingkat valensinya yakni krom heksavalen (Cr^{6+}) bersifat sangat beracun dan reaktif, sedangkan krom trivalen (Cr^{3+}) kurang beracun.

Efek toksisitas Cr mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman termasuk perubahan dalam proses perkecambahan serta dalam pertumbuhan akar, batang dan daun. Cr juga dapat menghambat proses

fisiologis tanaman seperti fotosintesis, penyerapan air dan unsur hara (Shanker *et al.*, 2005). Menurut Henriques (2010), Cr^{3+} maupun Cr^{6+} dapat menyebabkan penghambatan pertumbuhan pada tanaman. Penyerapan dan akumulasi Cr dalam jaringan tumbuhan akan mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas fisiologis. Salah satu proses pertumbuhan yang dipengaruhi adalah perkecambahan. Toksisitas krom menyebabkan penghambatan perkecambahan dan pertumbuhan kecambah, pertumbuhan dan perkembangan akar, batang dan daun (Shanker *et al.* 2005). Menurut Sharma *et al.* (1995) krom dapat menyebabkan gangguan perkembangan perkecambahan dan proses metabolik. Selain itu juga mengganggu pertumbuhan akar dan berat kering, menyebabkan klorosis, mengganggu fotosintesis, dan dapat mengakibatkan kematian tumbuhan (Scoccianti *et al.* 2006). Siddiqui *et al.* (2014) melaporkan penghambatan perkecambahan biji *Brassica rapa* akibat perlakuan Cr, Cd dan Pb.

Salah satu cara menurunkan efek toksik dari logam berat adalah dengan menggunakan mikoriza. Mikoriza arbuskula merupakan simbiosis antara akar tanaman dan anggota dari ancesster filum jamur, Glomeromycota, yang dapat meningkatkan pasokan air dan nutrisi, seperti fosfat dan nitrogen pada tanaman inang (Parniske, 2008). Menurut Göhre dan Paszkowski (2006) simbiosis mikoriza arbuskula dalam fitoremediasi logam berat pada beberapa kasus cukup signifikan. Mikoriza arbuskula mampu meningkatkan penyerapan logam berat dan fitoekstraksi serta mampu berkontribusi pada imobilisasi logam berat dalam tanah (fitostabilisasi) (Gaur dan Adholeya, 2004; Khan, 2005). Menurut Tisdall (1991), jamur mikoriza dapat melindungi tanaman inang dari serapan unsur beracun melalui efek filtrasi, kompleksasi dan akumulasi. Jamur mikoriza juga dapat berperan sebagai biokontrol penyerapan logam berat dan membantu tanaman terhindar dari keracunan logam berat.

Proses penyerapan logam berat oleh tanaman yang bersimbiosis dengan mikoriza bervariasi. Estaun *et al.* (2010) melaporkan tanaman *Plantago lanceolata* yang mendapat cekaman Cr^{3+} dan dinokulasi dengan mikoriza arbuskula *Glomus intraradices* (BEG 72) menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan tanaman tanpa diinokulasi dengan mikoriza. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui pengaruh perlakuan mikoriza *Glomus mossae* terhadap perkecambahan biji dan pertumbuhan kecambah sorgum kultivar UPCA pada kondisi cekaman Cr^{6+} heksavalen (Cr^{6+}).

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan Rancangan acak lengkap. Ada dua faktor perlakuan yakni perlakuan pemberian mikoriza *Glomus mossae* dan tanpa perlakuan mikoriza. Kondisi cekaman Cr^{6+} diberikan dalam bentuk senyawa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dengan konsentrasi 5 mg Cr^{6+}/L .

Preparasi tanaman uji dan perlakuan

Biji *S. bicolor* terlebih dahulu disterilisasi menggunakan larutan hipoklorit 5% dan dibilas berulang menggunakan akuades. Selanjutnya biji direndam dalam air selama 24 jam untuk mempercepat perkecambahan. Media kecambah berupa pasir sungai (20 g) yang telah dicuci dan disterilkan dimasukkan dalam pada *tray* semai plastik. Perlakuan mikoriza diberikan dengan cara mencampur inoculum mikoriza ke dalam media perkecambahan, sebagai perlakuan control, media perkecambahan tidak diberi mikoriza. Perlakuan cekaman Cr^{6+} diberikan 2 hari setelah benih sorgum dikecambahkan pada media perkecambahan dengan cara dilarutkan dalam larutan Hoagland. Selama perkecambahan benih dijaga

kelembabannya dengan cara dilakukan penyiraman setiap hari menggunakan larutan Hoagland.

Pengukuran Parameter

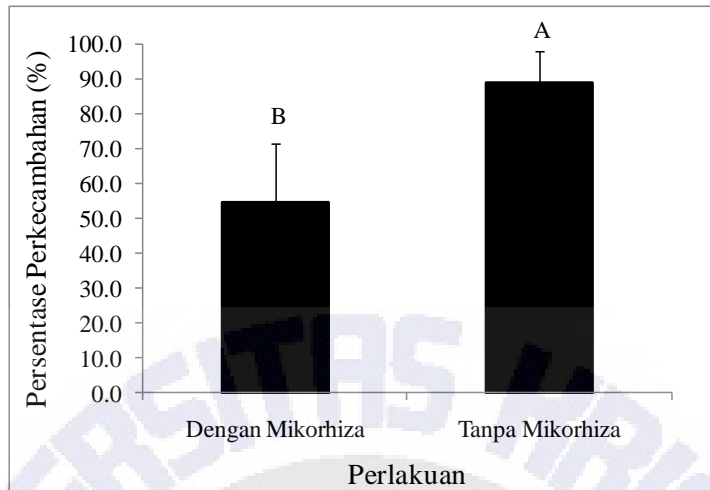
Parameter yang diamati meliputi jumlah benih yang berkecambah setiap hari (selama 7 hari), panjang akar, panjang pucuk/tunas, dan bobot kering kecambah pada akhir penelitian. Pengukuran bobot kering kecambah dilakukan dengan cara kecambah dibersihkan, dimasukkan dalam amplop kertas dan dioven selama 48 jam pada suhu 80°C, selanjutnya ditimbang.

Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis statistic menggunakan analisis sidik ragam satu arah untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap masing-masing parameter, dilanjutkan dengan uji Tukey tingkat signifikansi 5%. Analisis data dilakukan dengan program SAS.

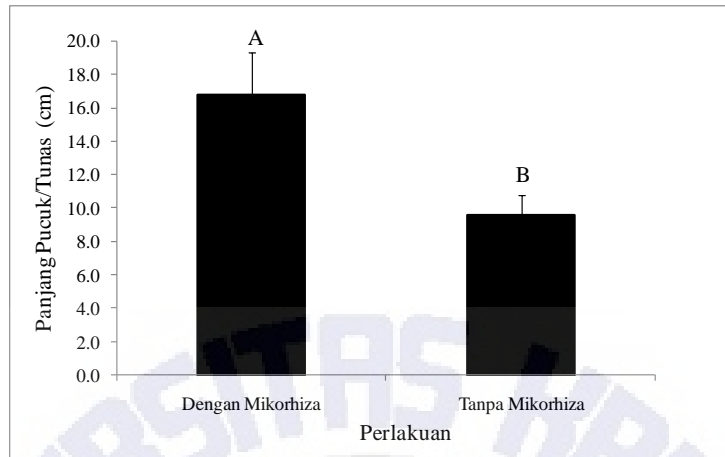
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan persentase perkecambahan benih sorgum kultivar UPCA yang tanpa diberi perlakuan mikoriza *G. mossae* (kontrol) (54,6%) lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan yang diberi perlakuan mikoriza (88,9%). Hasil ini menunjukkan adanya simbiosis mikoriza pada benih sorgum yang diberi perlakuan mikoriza menyebabkan terjadinya penurunan persentase perkecambahan benih sorgum dibandingkan kontrol (tanpa diberi perlakuan mikoriza). Perkecambahan merupakan tahap pertumbuhan awal dari tanaman yang sensitif terhadap adanya cekaman baik biotik maupun abiotik. Pada benih sorgum yang diberi mikoriza dan mendapat cekaman Cr^{6+} mengalami penghambatan perkecambahan, hal ini diduga efek patogenitas akibat infeksi dari mikoriza pada tahap awal perkecambahan dan akan memulai membentuk simbiosis dengan akar.



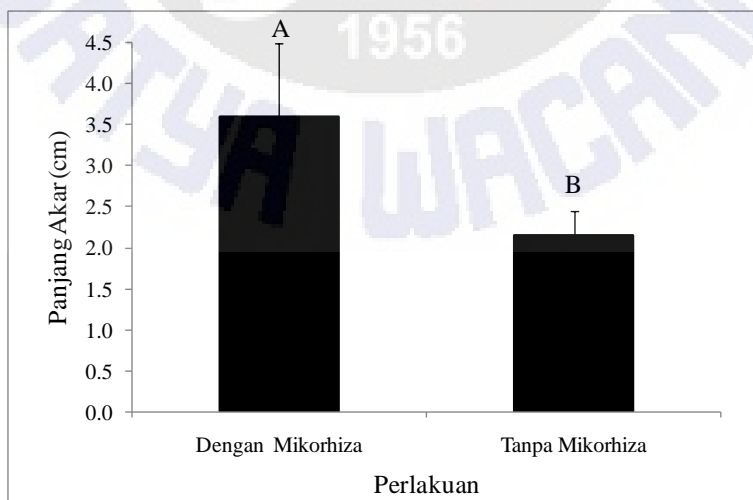
Gambar 1. Persentase perkecambahan biji sorgum kultivar UPCA selama 7 hari pada kondisi cekaman Cr^{6+}

Hasil analisis sidik ragam pada pengamatan panjang akar, panjang pucuk dan bobot kering kecambah sorgum menunjukkan bahwa perlakuan pemberian mikoriza pada media perkecambahan yang mengandung Cr^{6+} berpengaruh nyata pada ketiga parameter tersebut (Gambar 2, 3 dan 4). Panjang tunas/pucuk pada kecambah sorgum yang mendapat perlakuan mikoriza menunjukkan hasil rata-rata yang lebih tinggi yaitu sebesar 16,8 cm dibandingkan kecambah sorgum yang tanpa diberi mikoriza yang hanya mencapai 9,6 cm (Gambar 2). Berdasarkan hasil uji Tukey ditunjukkan bahwa panjang tunas/pucuk kecambah sorgum yang mendapat cekaman Cr^{6+} dan diberi mikoriza menunjukkan nilai yang berbeda nyata dibandingkan yang tanpa mikoriza .



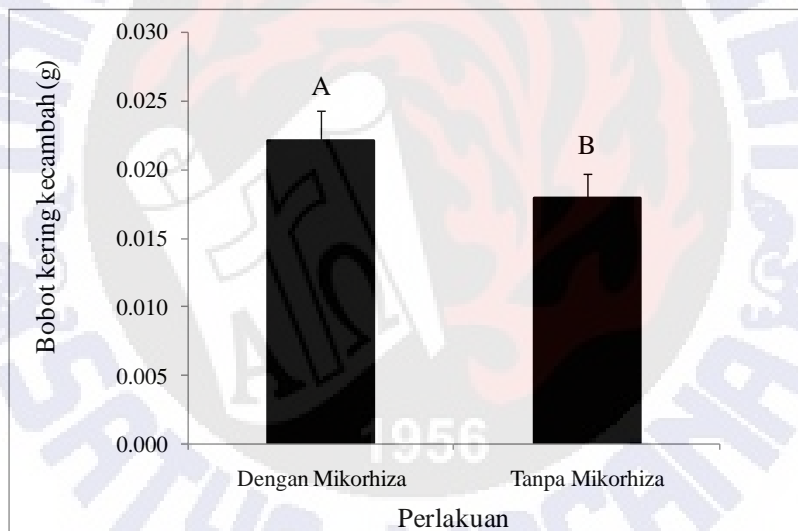
Gambar 2. Panjang pucuk/tunas kecambah sorgum kultivar UPCA umur 7 hari pada kondisi cekaman Cr^{6+}

Pemberian mikoriza pada media perkecambahan sorgum pada kondisi ada cekaman Cr^{6+} mampu meningkatkan pertumbuhan akar kecambah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan panjang akar dari kecambah sorgum yang diberi mikoriza lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan kecambah sorgum tanpa mikoriza. Panjang akar kecambah sorgum yang mendapat cekaman Cr^{6+} dan diberi perlakuan mikoriza mencapai 3,6 cm, sedangkan pada kecambah sorgum tanpa mikoriza hanya mencapai 2,1 cm.



Gambar 3. Panjang akar kecambah sorgum kultivar UPCA umur 7 hari pada kondisi cekaman Cr^{6+}

Bobot kering kecambah diperoleh dari hasil kecambah yang dioven 80°C selama 2 hari atau hingga mencapai keadaan bobot kering kecambah stabil. Bobot kering kecambah berbanding lurus dengan panjang akar dan panjang tunas, serta volume kecambah. Semakin tinggi nilai panjang akar dan tunas maka akan semakin tinggi nilai bobot kering kecambah. Pada Gambar 4 ditunjukkan bobot kering kecambah sorgum yang mendapat cekaman Cr^{6+} dan diberi mikoriza memiliki bobot kering kecambah lebih besar yaitu mencapai 0,022 g dan nilainya berbeda nyata dengan kecambah sorgum tanpa perlakuan mikoriza yang hanya mencapai 0,018 g.



Gambar 4. Bobot kering kecambah sorgum kultivar UPCA umur 7 hari pada kondisi cekaman Cr^{6+}

Menurut Widiastuti *dkk.* (2003) penggunaan mikoriza dapat meningkatkan adaptasi tanaman terhadap kondisi cekaman lingkungan, terutama mampu meningkatkan penyerapan air maupun unsur hara. Keberadaan simbiosis mikoriza pada perakaran tanaman dapat juga memperbaiki penyerapan nutrisi bagi tanaman dan dapat mengurangi stress

akibat serangan patogen akar. Pemberian mikoriza dapat meningkatkan penyerapan hara secara efektif. Tanaman yang bermikoriza lebih kompetitif dan toleran pada keadaan lingkungan yang kurang menguntungkan, jika dibandingkan dengan tanaman yang tidak bermikoriza.

Dari hasil penelitian ini ditunjukkan bahwa pemberian mikoriza pada kecambah sorgum yang mengalami cekaman Cr^{6+} mampu meningkatkan toleransi kecambah sorgum terhadap toksisitas Cr^{6+} . Pada kondisi cekaman Cr^{6+} , kecambah sorgum yang mendapat perlakuan mikoriza menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan kecambah sorgum yang tidak diberi mikoriza. Menurut Donnely (1994) mikoriza mampu meningkatkan toleransi tanaman terhadap logam berat toksik melalui akumulasi logam berat dalam hifa eksternalnya, sehingga mengurangi penyerapan oleh sel-sel tanaman. Selain mengakumulasi dalam hifa, mikoriza dapat juga melakukan pengkomplekan logam dengan bantuan sekresi hifa eksternal. Hal ini menunjukkan adanya mekanisme filtrasi sehingga logam berat toksik tidak diserap oleh akar tanaman.

KESIMPULAN

Pada kondisi cekaman Cr^{6+} , penambahan mikoriza pada media mampu meningkatkan pertumbuhan (panjang akar dan panjang pucuk/tunas) serta bobot kering kecambah sorgum kultivar UPCA. Sebaliknya, benih sorgum kultivar UPCA yang mendapat perlakuan mikoriza memiliki persentase perkecambahan lebih rendah dibandingkan yang tanpa perlakuan mikoriza.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada TUHAN YESUS KRISTUS yang memberi kemudahan serta kelancaran

selama proses penelitian; Dr. Sri Kasmiyati, M.Si selaku pembimbing yang telah banyak membantu; keluarga dan kakak Herdiana yang selalu mendukung dan mendoakan; serta berbagai pihak yang terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- Dicko, M.H., H. Gruppen, A.S. Traoré, W.J.H van Berkel, and A.G.J Voragen. 2006. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology* 5 : 384-395
- Donnelly, PK. 1994. *Potential Use of Mycorrhizal Fungi as Bioremediation Agents*. American Chemical Society. USA. 94-97.
- Estaun, V., Cortes, A., Velianos, K., Camprubi, A and Calvet, C. 2010. Effect of chromium contaminated soil on arbuscular mycorrhizal colonisation of roots and metal uptake by *Plantago lanceolata*. *Span. J. Agric. Res.* 8 : S109-S115.
- Gall, J.E., Boyd, R.S. and Rajakaruna, N. 2015. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: A review. *Environ. Monit. Assess.* 187 : 201.
- Göhre, V and Paszkowski, U. (2006). Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. *Planta.* 223 : 1115-1122.
- Gaur, A and Adholeya, A. 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizalfungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Sci.* 86 : 528-534.
- Henriques FS. 2010. Changes in biomass and photosynthetic parameters of tomato plants exposed to trivalent and hexavalent chromium. *Biologia Plantarum* 54 : 583-586
- Khan A, G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 18 : 355-364
- Nriagu JO. 1988. *Produktion and uses of chromium. Chromium in natural and human environment*. New York, USA. Jhon Wiley and Sons. Pp. 81-105.
- Parniske, M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nat. Rev. Microbiol.* 6 : 763-775.

- Reddy B V S dan William D. Dar. 2007. sor-ghum for Bioethanol. Makalah pada *workshop "Peluang dan Tantangan Sorgum sebagai Bahan Baku Bio-ethanol"*. Dirjenbun, Deptan, Jakarta. 8 hal
- Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. 2005. Chromium toxicity in plants. *Environ Int.* Vol. 31, pp. 739-753.
- Sharma D.C, Chatterjee C, dan Sharma C.P. 1995. Chromium accumulation by barley seedlings (*Hordeum vulgare* L.). *J. Exp. Bot.* 25 : 241-251.
- Siddiqui, M.M., Abbasi, B. H., Ahmad, N., Ali, M. and Mahmood, T. (2014). Toxic effects of heavy metals (Cd, Cr and Pb) on seed germination and growth and DPPH-scavenging activity in *Brassica rapa* var. turnip. *Toxicol Ind Health.* 30 : 238-249.
- Scoccianti V, Crinelli R, Tirillini B, Mancinelli V, dan Speranza A. 2006. Uptake and toxicity of Cr (III) in celery seedlings. *Chemosphere.* 64 : 1695-1703.
- Sirappa, M. P. 2003. Prospek pengembangan sorgum di Indonesia sebagai komoditas alternatif untuk pangan, pakan, dan industri. *Jurnal Litbang Pertanian* 22: 133-140.
- Tisdall, J. M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. *J. Soil. Res.* 29 : 729-743
- Widiastuti, L., Happy, K., Darusman, E., Guharja, N., Sukarno, D. H. Goenadi, dan Smith, S. 2003. Arsitektur akar kelapa sawit yang diinokulasi beberapa fungi mikoriza arbuskula. *Menara Perkebunan.* 71 : 28-43.